

令和 5 年 5 月 9 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02752

研究課題名(和文)生物機能を規範とした物質・エネルギー変換触媒の開発

研究課題名(英文)Development of catalysts for material and energy conversion based on biological functions

研究代表者

増田 秀樹(Masuda, Hideki)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：50209441

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、生体系の物質・エネルギー変換に関与する金属酵素の活性中心周辺の第一配位圏を模倣した金属錯体を合成し、第二配位圏として多重相互作用反応場を導入して基質を誘導・安定化する生体模倣金属錯体を構築することであった。具体的には、(1) Co錯体の酸素活性化状態の確認、(2) ニトロゲナーゼに存在するVを含むV錯体の合成とその窒素固定、(3) Cu電極を用いたCO₂からエチレンやエタノールなどの有用物質への変換、(4) Ni錯体を用いた水素製造触媒の開発、(5) 数種のイオン液体修飾電極とそれへの触媒の担持などの検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コバルト錯体による酸素活性化の機構、窒素固定化におけるバナジウムの役割、銅電極による炭酸ガス固定の機構、ニッケル錯体による水素生成の機構解明、イオン液体修飾電極の創製と触媒反応への応用が遂行できた。これらの知見、特に反応機構の解明は触媒開発の基盤となるものであり、インパクトファクターの高い幾つかの論文として報告し、学術的意義は大きく、またそれらの触媒開発へも大きく貢献すると考えられ、社会的意義は多大であると考えている。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to synthesize metal complexes that mimic the first coordination sphere around the active center of metalloenzymes involved in material and energy conversion in biological systems, and to construct bio-mimetic metal complexes that introduce a multiple-interaction reaction field as a second coordination sphere to induce or stabilize substrates. Specifically, we confirmed the following studies; (1) the confirmation of oxygen activation state of Co complexes, (2) synthesis of V complexes containing V present in nitrogenase and its nitrogen fixation, (3) conversion of CO₂ to ethylene, ethanol, and other useful substances using Cu electrodes, (4) development of catalysts for hydrogen production using Ni complexes, and (5) development of several types of ionic liquid-modified electrodes and support of catalysts in them.

研究分野：生物無機化学

キーワード：生物無機化学 触媒化学 錯体化学 酸素活性化触媒 窒素固定 炭酸ガス固定 水素生成触媒 イオン液体修飾電極

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高効率で高選択的な物質・エネルギー変換反応を可能とする触媒の開発は、有機合成化学、有機工業化学、触媒化学などの分野における最重要研究課題として長年活発に検討されてきた。特に、近年、エネルギー収支の向上や反応廃棄物の抑制などの必要性から、環境に負荷を与えないクリーンな触媒の開発が強く望まれている。我々は、生体内に存在する金属酵素が酸化還元反応、酸素化反応、電子移動反応、加水分解反応、官能基転移反応などの様々な化学反応を水溶液中、常温、常圧下で達成していることから、それを範とする触媒開発を生物無機化学や錯体化学、触媒化学の観点から研究を推進してきた。これまで国内外で進められてきた研究は多くの場合、反応活性種の構造/機能モデル系を目指した研究や、単純な金属錯体を用いた構造・機能モデルであり、低環境負荷型物質変換素子の開発にまで目指した例はない。我々は最近、イオン液体やナノ細孔、ナノデバイス等の特殊な環境下にある反応場を活用して不安定化合物を安定化し、反応を効率よく進行させることを、酸素の4電子還元や常温常圧下での窒素固定などの反応を見出してきており、本研究ではマイルドな環境下で進行する触媒反応システムを構築することを目指している。

2. 研究の目的

本研究の目的は、生体系において物質・エネルギー変換に関わる金属酵素の活性中心周辺の第一配位圏を模した金属錯体を合成し、さらに基質を誘導あるいは安定化するための多重相互作用反応場を第二配位圏として導入した生物模倣型金属錯体を構築することである。そして生物系で見られる反応活性種の本質を明らかにし、触媒反応システムを創製する。また、特異なイオン液体を導入した低環境負荷物質・エネルギー変換触媒システムを構築する。具体的には、酸素の活性化による物質・エネルギー変換触媒の開発、常温常圧下で空中窒素からアンモニアを合成する低環境負荷アンモニア合成システムの開発、炭酸ガス固定を触媒する金属錯体の構築、微生物の機能を活用したバイオリアクターの構築、不安定反応中間体を安定化し触媒的反応を促進させる反応場システムとしてのイオン液体や多孔性材料を利用した特異な反応システムの構築および反応場デバイスの開発を行うことである。

3. 研究の方法

本研究では、生体系において物質・エネルギー変換に関わる高機能な金属酵素等の活性中心構造に着目し、金属周辺の第一配位圏および第二配位圏の重要な階層構造を精密に設計し、それら反応活性種および多重相互作用空間を人工的に合成・構築する。そして、イオン液体を用いたナノ技術の融合により、高効率な物質・エネルギー変換デバイスの創製を目指し、次の5テーマについて遂行する。酸素種の活性化による物質・エネルギー変換触媒材料の開発、空中窒素と水中プロトンからアンモニアを合成する低環境負荷システムの開発、炭酸ガス固定を触媒する金属錯体の構築、微生物の機能を活用したバイオリアクターデバイスの構築、不安定反応中間体を安定化し触媒的反応を促進させる反応場システムとして、イオン液体や多孔性材料を利用した特異な反応システムの構築および反応場デバイスの開発を行う。

4. 研究成果

本研究では、生体系において物質・エネルギー変換に関わる高機能な金属酵素等の活性中心構造に着目し、第一配位圏と第二配位圏の階層構造を精密に設計し、反応活性種を人工的に合成・構築を行った。また、ナノイオン液体空間を活用したナノ技術との融合により高効率な触媒デバイスの創製を目指したそれぞれの成果を以下に記す。

酸素種の活性化による物質・エネルギー変換触媒材料の開発

酸素の活性化は物質・エネルギー変換の重要なプロセスである。本研究では、酸素の活性化に関わる酵素モデルとして、メタンをメタノールに変換するメタンモノオキシゲナーゼ機能を有する異種原子価銅二核錯体触媒の設計・合成と、非常に珍しいコバルトを用いた酸素の活性化・切断によるコバルト(IV)=O錯体の合成と反応性についての研究を遂行した。前者は、異なる酸化数を有する銅二核錯体の合成に挑戦した。そしてCu(II,III)およびCu(I,II)錯体の合成を確認した。前者はメタンモノオキシゲナーゼの活性種モデルとして非常に珍しいものであり、その形成確認を行なった。後者については、酸素分子を切断した金属-酸素錯体は、前周期元素では容易に形成され、酸化反応の研究はなされるものの、後周期元素ではなかなか合成できず、*oxo-wall*と言われ、反応の検討は少ない。本研究では、平面四配位コバルト(II)錯体を用い酸素との反応を遂行したところ、酸素との反応を通してCo(IV)=OあるいはCo(III)-O[•]錯体の形成が確認された。そして、その酸化反応性についても検討することに成功した。その結果、酸素がCo(II)に結合し、スーパーオキシドCo(III)種を経て二核化し、できたパーオキシドが切断され、Co=Oが形成される。この活性種は共鳴ラマン、質量分析、酸化反応性から判断してCo(III)-O[•]であると結論付けた。

空中窒素と水中プロトンからアンモニアを合成する低環境負荷システムの開発

窒素分子からアンモニアへの変換反応機構は、ラジカル反応と酸化還元反応の大きく2つに

分けられる。前者は現在の工業的手法であるハーバー・ボッシュ法であり、後者は天然の窒素固定菌であるニトロゲナーゼが触媒している反応機構である。しかし前者は、高温・高圧という環境負荷の極めて高く厳しい反応条件を必要とするため、多くのエネルギーを必要とするだけでなく、もう一つの原料として化石燃料由来の水素に依存している。そのため、ハーバー・ボッシュ法に替わる環境に対する負荷の少ない新たな窒素固定化プロセスの開発が求められている。ここで開発した技術は還元反応利用したものと、もう一つは酸化反応を利用したものである。前者は、イオン液体の特性を利用するもので、疎水環境でマイルドな反応を促進でき、触媒には窒素分子を還元できる金属錯体を用い活性化エネルギーを下げ、低い過電圧で窒素の電気化学的還元を行うものである。即ち、イオン液体にチタノセン(II)を溶解し、水中で電気化学的に窒素を還元するもので、水素源としてプロトンを用いる。有機溶媒中で電気化学還元した場合に比べて50倍もの高い電流効率を示すことが分かり、実用化に向けて展開中である。後者は、酸化反応を利用するものである。これは古くから知られるモリブデン錯体 Mo(0)(dppe)_2 を用いるものであり、これにマイルドな酸化剤であるアセチルフェロセンを1当量添加するもので、これによりモリブデンは0価から一気に4価まで酸化反応が進行し、窒素のN-N結合が切断され、窒素の活性種である Mo(IV)-N が生成されるというものである。ここで用いられたモリブデン錯体は50年も前から知られている錯体であり、しかも窒素分子が酸化反応で切断されるという画期的な反応であり、さらに新しいアンモニアへの変換反応の検討を進めている。

炭酸ガス固定を触媒する金属錯体の構築

光合成の主たる機能は光-化学変換、水から酸素発生、炭酸ガスをブドウ糖に変換等種々あるが、中でもブドウ糖の合成は重要である。しかしこれを達成した研究者はいない。また、炭酸ガスを中心とする地球温暖化を液体化することで極めて濃い濃度問題を考えると炭酸ガスの有用性物質への変換は極めて重要と言える。我々はイオン液体修飾金電極を用い、ここへイミダゾール等の有機分子を担持し、炭酸ガスと電気化学的に還元したところ、メタノールを電流効率30%と極めて高効率で進行し、しかも過電圧を0.23Vも低減することに成功した。更に、電極として Cu(OH)_2 という銅電極を用いた系では、エチレンやエタノールを生成することが分かった。これはこの反応系ではC-C結合を形成することを示しており、光合成に一步近づく、画期的な発見である。

微生物の機能を活用したバイオリクターデバイスの構築

あらゆる細胞にとって鉄は重要な生命必須金属である。しかし鉄は溶解度が極めて低いため、鉄を細胞内に取り込むことは極めて困難である。そのため生物はこの鉄を自身の細胞内に供給するために、自分自身あるいは環境中に存在するシデロフォアという有機分子を用いて鉄を摂取している。鉄はこのシデロフォアと錯形成し、細胞のチャネルを通過して細胞内に取り込まれている。この鉄-シデロフォア錯体を基板上に修飾することにより、鉄を摂取しようとする生物や細胞を捕捉することができると考え、基板上に修飾したところ、予想通り微生物等の細胞を選択的に捕捉することに成功した。本研究では、シデロフォアとしてカテコール型(C3型)、ヒドロキサム酸型(H3型)、そしてこれらをハイブリッドしたシデロフォア(C2H型、CH2型)の計4種類を合成した。そしてこれらを基板上に修飾し、バイオリクターとして利用することとし、20種類以上の微生物についてシデロフォア特異性を検討し、シデロフォアの微生物特異性の観察に成功した。中でも、空中窒素を固定化することで知られるアゾトバクターがC2H型シデロフォアにより選択的に捕捉されることがわかり、これを用いて窒素のアンモニアへの変換反応を検討したところ、9億4千万回転/時間/細胞という高い反応効率で反応が進行することに成功した。他にもニトリルをアミンに変換するニトリルヒドラターゼについても反応を検討した結果、やはり高効率で変換反応が進行することが明らかとなった。ここで構築したシデロフォア修飾基板を活用することにより、ある種の微生物を選択的に捕捉でき、微生物の有する物質・エネルギー変換機能を発現させたことになり、バイオリクターとして物質・エネルギー変換触媒のデバイス化を可能とするものである。

イオン液体を修飾した特異的電極反応場の開発

我々は、以前、生物模倣型金属錯体触媒として、酸素を可逆的に脱着できるヘムエリスリンモデルを合成した。本研究では、イオン液体修飾金電極基板上にこのモデル錯体を担持することで酸素から水への4電子還元成功した。酸素との反応は、モデル錯体では、有機溶媒中で進行し、かつ不安定のため、低温下で過酸化水素が生成するという反応であった。しかし、イオン液体修飾電極反応場にモデル錯体を担持することで、水中で、かつ室温で反応が進行し、しかも酸素が水にまで4電子還元されるという画期的な機能発現が見られた。更にこの時、酸素の活性化の過電圧は0.5Vも低減されるという結果となった。これは燃料電池のカソードへの応用が可能であり、エネルギー変換材料として期待できる。また、オリジナルなイオン液体を開発することにより、通常の溶液中では想定できない反応が見つかっており、イオン液体の技術を我々が開発してきた反応系へ展開することで、更なる高機能が期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Arii Hidekazu, Iwanami Yaeko, Nakane Daisuke, Masuda Hideki, Matsumoto Jin, Shiragami Tsutomu, Mochida Kunio, Kawashima Takayuki	4. 巻 40
2. 論文標題 Synthesis of Germacyclic Compounds by Cyclization and Annulation Reactions Utilizing <i>In Situ</i> Generated Germyl Cations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Organometallics	6. 最初と最後の頁 1363 ~ 1370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.organomet.1c00141	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kato Takuma, Tatematsu Ryo, Nakao Kenichi, Inomata Tomohiko, Ozawa Tomohiro, Masuda Hideki	4. 巻 60
2. 論文標題 Effect of Counteranions in Electrocatalytic Hydrogen Generation Promoted by Bis(phosphinopyridyl) Ni(II) Complexes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 7670 ~ 7679
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.0c03657	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Inomata Tomohiko, Hatano Mayuka, Kawai Yuya, Matsunaga Ayaka, Kitagawa Takuma, Wasada-Tsutsui Yuko, Ozawa Tomohiro, Masuda Hideki	4. 巻 26
2. 論文標題 Synthesis and Physico-Chemical Properties of Homoleptic Copper(I) Complexes with Asymmetric Ligands as a DSSC Dye	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 6835 ~ 6835
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules26226835	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Arii Hidekazu, Nakao Kenichi, Masuda Hideki, Kawashima Takayuki	4. 巻 7
2. 論文標題 Synthesis of 1-Silabenzocyclohexa-1,4-diene derivatives via Electrophilic Aromatic Substitution of Aldehydes Activated by Silylium Ion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 5166 ~ 5175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.1c06228	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kokubo Yoshiaki, Wasada Tsutsui Yuko, Yomura Shunsuke, Yanagisawa Sachiko, Kubo Minoru, Kugimiya Shinichi, Kajita Yuji, Ozawa Tomohiro, Masuda Hideki	4. 巻 15-16
2. 論文標題 Syntheses, Characterizations, and Crystal Structures of Dinitrogen Divanadium Complexes Bearing Triamidoamine Ligands	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 1456 ~ 1464
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejic.201901123	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wasada Tsutsui Yuko, Wasada Hiroaki, Suzuki Tatsuya, Katayama Akira, Kajita Yuji, Inomata Tomohiko, Ozawa Tomohiro, Masuda Hideki	4. 巻 15-16
2. 論文標題 Efficient Electronic Structure to Stabilize N ₂ Bridged Dinuclear Complexes Intended for N ₂ Activation: Iminophosphorane Iron(I) and Cobalt(I)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 1411 ~ 1417
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejic.201901131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomohiko Inomata, Suguru Endo, Masakazu Miyamoto, Tomohiro Ozawa, and Hideki Masuda	4. 巻 36
2. 論文標題 Sensing Microorganisms Using Artificial Siderophore-modified Substrates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Sensors	6. 最初と最後の頁 94-96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iijima Go, Yamaguchi Hitoshi, Inomata Tomohiko, Yoto Hiroaki, Ito Miho, Masuda Hideki	4. 巻 10
2. 論文標題 Methanethiol SAMs Induce Reconstruction and Formation of Cu ⁺ on a Cu Catalyst under Electrochemical CO ₂ Reduction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 15238 ~ 15249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.0c04106	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomohiko Inomata, Ayaka Matsunaga, Guangzhu Jin, Takuma Kitagawa, Mizuho Muramatsu, Tomohiro Ozawa, and Hideki Masuda	4. 巻 12
2. 論文標題 Improvement of Photoelectric Performance of Dye-sensitized Solar Cell Using Ionic Liquid-modified TiO ₂ Electrode	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 RSC Adv.	6. 最初と最後の頁 19624 - 19631
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2RA03230A	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshiaki Kokubo, Itsuki Igarashi, Kenichi Nakao, Wataru Hachiya, Shinichi Kugimiya, Tomohiro Ozawa, Hideki Masuda, and Yuji Kajita	4. 巻 27
2. 論文標題 The Steric Effect in Preparations of Vanadium(II)/(III) Dinitrogen Complexes of Triamidoamine Ligands Bearing Bulky Substituents	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 5864 (pp 1-15)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules27185864	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Go Iijima, Junichi Naruse, Hajime Shingai, Kyohei Usami, Takanobu Kajino, Hiroaki Yoto, Youhei Morimoto, Ryota Nakajima, Tomohiko Inomata, and Hideki Masuda	4. 巻 37
2. 論文標題 Mechanism of CO ₂ Capture and Release on Redox-Active Organic Electrodes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Energy & Fuels	6. 最初と最後の頁 2164-2177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.energyfuels.2c03391	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshiaki Kokubo, Kazuki Tsuzuki, Hikari Sugiura, Chiaki Yamamoto, Shunsuke Yomura, Yuko Wasada-Tsutsui, Tomohiro Ozawa, Sachiko Yanagisawa, Minoru Kubo, Shinichi Kugimiya, Hideki Masuda, and Yuji Kajita	4. 巻 62
2. 論文標題 Syntheses, Characterizations, Crystal Structures, and Protonation Reactions of Dinitrogen Chromium Complexes Supported with Triamidoamine Ligands	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Inorg. Chem.	6. 最初と最後の頁 5320-5333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.2c01561	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計50件(うち招待講演 1件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 飯島剛, 猪股智彦, 増田秀樹
2. 発表標題 メタンチオール SAMs 銅電極での CO ₂ 電気化学還元反応の解析
3. 学会等名 第19回ナノ学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kenichi NAKA01, Takuma KAT01, Ryo TATEMATSU1, Tomohiko INOMATA1, Tomohiro OZAWA1, and Hideki MASUDA
2. 発表標題 Electrochemical Hydrogen Production by N ₂ P ₂ -type Ni (II) Complex with Proton Transfer Site and Its Counterion Effect
3. 学会等名 第30回金属の関与する生体関連シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kenichi Nakao, Takuma Kato, Ryo Tatematsu, Tomohiko Inomata, Tomohiro Ozawa, and Hideki Masuda
2. 発表標題 Effect of Amine Group Near Active Center for Electrochemical Hydrogen Production by N ₂ P ₂ -Type Ni(II) Complex Catalyst
3. 学会等名 第71回錯体化学会討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Itsuki Igarashi, Yuji Kajita, Tomohiko Onoue, Ko Mibu, Tomohiko Inomata, Tomohiro Ozawa, and Hideki Masuda
2. 発表標題 Reactivity of Iron(II) Complex with a Tridentate Alkylamine Ligand and Molecular Oxygen as an Aldehyde-Deformylating Oxygenase Model
3. 学会等名 第71回錯体化学会討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐樹, 梶田裕二, 尾上智子, 壬生 攻, 猪股智彦, 小澤智宏, 増田秀樹
2. 発表標題 アルデヒド脱ホルミル化オキシゲナーゼ (ADO) モデルとしての第二級アミノ基を有する三座配位子-鉄錯体と酸素分子を用いた基質との反応
3. 学会等名 第54回酸化反応討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐樹・梶田裕二*・尾上智子・壬生攻・猪股智彦・小澤智宏・増田秀樹
2. 発表標題 アルデヒド脱ホルミル化オキシゲナーゼ(ADO)モデルとしての三座アルキルアミン配位子鉄(III)-酸素錯体のキャラクタリゼーション
3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 仲尾健一・加藤匠馬・立松涼・猪股智彦・小澤智宏・増田秀樹
2. 発表標題 N2P2型Ni錯体による電気化学的水素生成と活性中心近傍のアミン基効果
3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小久保 佳亮、梶田 裕二、増田 秀樹
2. 発表標題 かさ高い置換基を持つトリアミドアミン配位子を用いたバナジウム窒素錯体の合成と構造
3. 学会等名 第101回日本化学会春年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮本 政和、猪股 智彦、小澤 智宏、増田 秀樹
2. 発表標題 人工シデロフォア錯体修飾基板を用いた微生物固定化に及ぼす錯体の電荷の影響
3. 学会等名 第101回日本化学会春年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柳生 晋太郎、猪股 智彦、小澤 智宏、増田 秀樹
2. 発表標題 新規イミノホスホラン型配位子を用いた遷移金属錯体による窒素分子の活性化及び触媒的アンモニア合成
3. 学会等名 第101回日本化学会春年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仲尾 健一、猪股 智彦、小澤 智宏、増田 秀樹
2. 発表標題 光による窒素活性化を指向したルテニウム錯体の合成と性質
3. 学会等名 第101回日本化学会春年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤 匠馬、立松 涼、和佐田-筒井 祐子、猪股 智彦、小澤 智宏、増田 秀樹
2. 発表標題 H ⁺ 捕捉部位を有する Ni(II)錯体の電気化学的水素生成機構の解明
3. 学会等名 第101回日本化学会春年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中根 大輔、猪股 智彦、舩橋 靖博、小澤 智宏、増田 秀樹
2. 発表標題 酸素分子を酸化剤として用いた新規N3S3型Fe(III)錯体によるメタノール酸化反応
3. 学会等名 第101回日本化学会春年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 服部 優里、高木 啓允、和佐田・筒井 祐子、猪股 智彦、小澤 智宏、増田 秀樹
2. 発表標題 N3S2型コバルト(III)錯体のNO誘導体との反応性とキャラクタライズ
3. 学会等名 第101回日本化学会春年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 五十嵐 樹、梶田 裕二、尾上 智子、壬生 攻、猪股 智彦、小澤 智宏、増田 秀樹
2. 発表標題 三座型アルキルアミン配位子を用いた鉄錯体の酸素との反応評価
3. 学会等名 第101回日本化学会春年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuri Hattori, Hiromitsu Takagi, Yuko Wasada-Tsutsui, Tomohiko Inomata, Tomohiro Ozawa, Hideki Masuda
2. 発表標題 Characterization of nitrosyl Co complex with modified sulfur donors
3. 学会等名 第70回錯体化学会討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuma Kato, Ryo Tatematsu, Yuko Wasada-Tsutsui, Tomohiko Inomata, Tomohiro Ozawa, Hideki Masuda
2. 発表標題 Electrochemical hydrogen evolution mechanism of NP-type Ni(II) complexes having H ⁺ transfer site
3. 学会等名 第70回錯体化学会討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中根大輔, 猪股智彦, 小澤智宏, 増田秀樹
2. 発表標題 メタノール酸化反応を触媒する新規N3S3型Fe(III)錯体
3. 学会等名 第70回錯体化学会討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤洗己, 西村姿吹, 落合達也, 猪股智彦, 小澤智宏, 増田秀樹
2. 発表標題 pMMOの活性中心をモデル化した非対称二核銅錯体の分光学的挙動とレドックス
3. 学会等名 第70回錯体化学会討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 五十嵐 樹, 梶田 裕二, 猪股 智彦, 小澤 智宏, 増田 秀樹
2. 発表標題 第二級アミノ基を有する三座配位子鉄錯体の性質評価
3. 学会等名 第70回錯体化学会討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳生 晋太郎, 和佐田 祐子, 猪股 智彦, 小澤 智宏, 増田 秀樹
2. 発表標題 新規イミノホスホラン型配位子を有するCo錯体を用いた触媒的アンモニア合成
3. 学会等名 第70回錯体化学会討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 余村駿介, 和佐田祐子, 猪股智彦, 小澤智宏, 増田秀樹
2. 発表標題 平面四配位型 N ₂ O ₂ -Co(II)錯体と酸素との反応により生成された活性種の同定とその反応性
3. 学会等名 第70回錯体化学会討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大倉望生, 畑中翼, 和佐田祐子, 増田秀樹, 船橋靖博
2. 発表標題 環状多座配位子の二核銅錯体の分子変形効果に関する理論化学的研究
3. 学会等名 第53回酸化反応討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 余村駿介, 和佐田祐子, 猪股智彦, 小澤智宏, 増田秀樹
2. 発表標題 平面四配位型 N ₂ O ₂ -Co(II)錯体と酸素との反応により生成された活性種の同定とその反応性
3. 学会等名 第53回酸化反応討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前田 紗哉加・片山 精・猪股 智彦・小澤 智宏・増田 秀樹
2. 発表標題 モリブデンニトリド錯体へのプロトン化
3. 学会等名 第100回日本化学会春年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本真子、鈴木成人、猪股智彦、小澤智宏、増田秀樹
2. 発表標題 根圏微生物の成長因子を指向した人工シデロフォア-金属錯体の合成と性質
3. 学会等名 第100回日本化学会春年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口瑛名、和佐田裕子、小澤智宏、猪股智彦、増田秀樹
2. 発表標題 NOキャリアを指向したジアミド型コバルト錯体の合成とNO付加体の電子状態
3. 学会等名 第100回日本化学会春年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳生晋太郎、猪股智彦、小澤智宏、増田秀樹
2. 発表標題 新規イミノホスホラン型コバルト錯体を用いた触媒的アンモニア合成
3. 学会等名 第100回日本化学会春年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 余村駿介、扇玉智徳、猪股智彦、小澤智宏、増田秀樹
2. 発表標題 N2O2型配位子-Co(II)錯体と酸素との反応生成物の確認および基質との反応性
3. 学会等名 第100回日本化学会春年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 服部優里、三品律子、猪股智彦、小澤智宏、増田秀樹
2. 発表標題 N3S2型Co(III)錯体のニトロシル誘導体の合成と性質
3. 学会等名 第100回日本化学会春年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北川琢磨、猪股智彦、小澤智宏、増田秀樹
2. 発表標題 イオン液体修飾チタニア電極による銅錯体色素増感太陽電池の高性能化
3. 学会等名 第100回日本化学会春年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤匠馬、猪股智彦、小澤智宏、増田秀樹
2. 発表標題 異なる置換基を有するNP型配位子を持つNi(II)錯体による電気化学的水素生成反応の評価
3. 学会等名 第100回日本化学会春年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五十嵐 樹・梶田 裕二・猪股 智彦・小澤 智宏・増田 秀樹
2. 発表標題 第二級アミノ基を有する三座配位子-鉄錯体の酸素との反応とその酸化反応特性
3. 学会等名 第100回日本化学会春年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤洗己、西村姿吹、落合達也、猪股智彦、小澤智宏、増田秀樹
2. 発表標題 pMMOの活性部位をモデル化した非対称な配位環境を有する二核銅錯体の評価
3. 学会等名 第100回日本化学会春年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原善邦、猪股智彦、増田秀樹、小澤智宏
2. 発表標題 ヒドロゲナーゼの活性中心におけるプロトン伝達部位を模倣した金属錯体触媒の電気化学的水素生成反応
3. 学会等名 第31回金属の関与する生体関連シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森優、和佐田祐子、増田秀樹、猪股智彦、小澤智宏
2. 発表標題 亜酸化窒素還元酵素を模倣した新規アントラセン架橋型銅二核錯体の性質
3. 学会等名 第31回金属の関与する生体関連シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯島剛、猪股智彦、増田秀樹
2. 発表標題 レドックス活性有機電極でのCO ₂ 吸脱着挙動の解析
3. 学会等名 2022年 電気化学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉田 理々香、遠藤 卓、小澤 智宏、増田 秀樹、猪股 智彦
2. 発表標題 人工シデロフォア - 鉄錯体修飾基板を利用した微生物探索・分離技術
3. 学会等名 第16回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森優, 和佐田祐子, 猪股智彦, 増田秀樹, 小澤智宏
2. 発表標題 亜酸化窒素還元酵素の活性中心を模倣した新規アントラセン架橋型二核銅錯体の化学的・電気化学的性質
3. 学会等名 第72回錯体化学会討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 久保匡輝, 中根大輔, 小澤智宏, 猪股智彦, 増田秀樹
2. 発表標題 メタノール酸化を触媒するN ₃ S ₃ Fe(III)錯体の酸素との反応
3. 学会等名 第72回錯体化学会討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鬼頭直子, 山口瑛名, 和佐田祐子, 増田秀樹, 猪股智彦, 小澤智宏
2. 発表標題 一酸化窒素ドナーを指向したジアミド型コバルト錯体の合成と性質
3. 学会等名 第72回錯体化学会討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原善邦, 猪股智彦, 増田秀樹, 小澤智宏
2. 発表標題 ビスフェニルアミド-ピピリジン錯体の中心金属種(Ni, Cu)における電気化学的水素生成反応の挙動
3. 学会等名 第72回錯体化学会討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 久保 匡輝、中根 大輔、小澤 智宏、猪股 智彦、増田 秀樹
2. 発表標題 触媒的空気酸化を達成するN ₃ S ₃ Fe()錯体の性質評価
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村松 瑞帆、松永 彩花、北川 琢磨、猪股 智彦、小澤 智宏、増田 秀樹
2. 発表標題 イオン液体修飾電極を利用した高効率色素増感太陽電池の開発
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 蜂矢 涉、余村 駿介、小澤 智宏、増田 秀樹、猪股 智彦
2. 発表標題 Oxidation reaction using ionic-liquid-modified Au electrode encapsulating cobalt complexes
3. 学会等名 第12回イオン液体討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 久保 匡輝、中根 大輔、小澤 智宏、猪股 智彦、増田 秀樹
2. 発表標題 非ヘム型チオラート系単核鉄錯体と酸素の反応メカニズム
3. 学会等名 第103回日本化学会春年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本 彩未、五十嵐 樹、猪股 智彦、小澤 智宏、増田 秀樹
2. 発表標題 高原子価ビス μ -オキソ種の生成を指向した4座アルキルアミン型鉄(II)錯体の合成とキャラクタライズ
3. 学会等名 第103回日本化学会春年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藪谷 翔輝、小澤 智宏、猪股 智彦、増田 秀樹
2. 発表標題 三脚型配位子を用いた新規モリブデン錯体による窒素分子の活性化及び触媒的アンモニア合成
3. 学会等名 第103回日本化学会春年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三宅 秀典、仲尾 健一、加藤 匠馬、立松 涼、和佐田 裕子、猪股 智彦、小澤 智宏、増田 秀樹
2. 発表標題 N2P2型配位子を有する平面型Ni(II)錯体による電気化学的水素生成反応
3. 学会等名 第103回日本化学会春年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 遠藤 卓、小澤 智宏、猪股 智彦、増田 秀樹
2. 発表標題 人工シデロフォアを利用した微生物固定化素子
3. 学会等名 日本薬学会第143年会（招待講演）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 増田秀樹、猪股智彦	4. 発行年 2022年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 10
3. 書名 イオン液体の実用展開へ向けた最新動向[6章 6 イオン液体修飾チタニア電極を用いた高効率色素増感太陽電池]	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	梶田 裕二 (Kajita Yuji) (60397495)	愛知工業大学・工学部・教授 (33903)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	小澤 智宏 (Ozawa Tomohiko) (70270999)	名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授 (13903)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協 力 者	猪股 智彦 (Inomata Tomohiko)		
研究 協 力 者	和佐田 裕子 (Wasada Yuko)		
研究 協 力 者	中根 大輔 (Nakane Daisuke)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関